

## Zmienność pokrywy śnieżnej w wybranych sezonach zimowych w małej zlewni na Pogórzu Wiśnickim

Snow cover variability in selected winter seasons  
in a small catchment in the Wiśnickie Foothills

Michał Kasina<sup>1</sup>

**Zarys treści:** Scharakteryzowano zmiany grubości, gęstości i zapasu wody w pokrywie śnieżnej w czasie pojedynczych okresów niwalnych. Badania prowadzono w rolniczej zlewni na Pogórzu Wiśnickim w sezonach zimowych 1999/00, 2002/03 i 2003/04. W okresie zalegania pokrywy śnieżnej w zlewni wyróżniono 3 fazy jej zmian: fazę formowania (tworzenie i utrwalanie się pokrywy śnieżnej), osiadania (spadek grubości i wzrost gęstości pokrywy, przy niewielkich zmianach lub wzroście zawartej w niej ilości wody) i zaniku (spadek grubości i zapasu wody, początkowo wzrost, a następnie spadek gęstości). Za decydujące czynniki zmian cech pokrywy śnieżnej, podczas dni ze średnią dobową temperaturą powietrza  $<0^{\circ}\text{C}$ , uznano wielkość zachmurzenia i usłonecznienia oraz prędkość i kierunek wiatru.

**Słowa kluczowe:** grubość pokrywy śnieżnej, gęstość pokrywy śnieżnej, zapas wody w pokrywie śnieżnej

**Key words:** snow cover depth, snow cover density, snow cover water equivalent

### Wprowadzenie

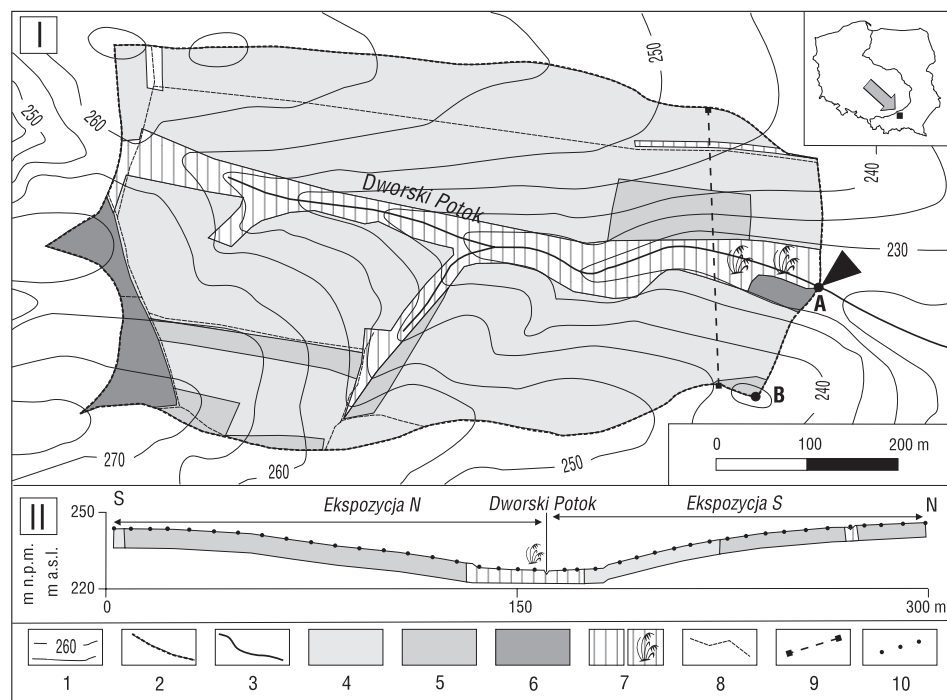
Zagadnienie zmienności pokrywy śnieżnej podejmowane było w licznych pracach. Większość z nich dotyczyła wieloletniej zmienności grubości i czasu zalegania pokrywy śnieżnej i opierała się na danych pochodzących ze standardowej sieci obserwacyjnej (Falarz 2002, 2004; Leśniak 1980, 1984). Niewiele uwagi poświęcono właściwościom pokrywy śnieżnej innym niż grubość lub czas zalegania, a jeszcze mniej – kilku właściwościom analizowanym jednocześnie. Kompleksowe badania pokrywy śnieżnej w Polsce prowadzone były jedynie na specjalistycznej stacji badań niwalnych na Hali Gąsienicowej. Ich wyniki usystematyzowała M. Kłapowa (1980).

---

<sup>1</sup> Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, e-mail: m.kasina@geo.uj.edu.pl

Badania zmienności pokrywy śnieżnej w czasie pojedynczych okresów z pokrywą śnieżną w mezoskali były podejmowane rzadko. Opierały się one na nieregularnych pomiarach cech pokrywy śnieżnej. Prowadzono je głównie na obszarach górskich (Głowicki 1977, Obrębska-Starkłowa 1968, Sadowski 1977). Niewiele uwagi poświęcono obszarom pogórskim czy nizinnym (m.in. Radomski 1964).

Celem artykułu jest przedstawienie zmian grubości, gęstości i zapasu wody w pokrywce śnieżnej w zlewni Dworskiego Potoku (0,29 km<sup>2</sup>), położonej na wysokości od 225 do 276 m n.p.m. w północnej części Pogórza Wiśnickiego. Zlewnia jest wydłużona w kierunku równoleżnikowym, co powoduje, że dominują w niej stoki o ekspozycji północnej i południowej.



Ryc. 1. Użytkowanie ziemi (I) i lokalizacja punktów pomiarowych (II) w zlewni Dworskiego Potoku:

1 – poziomice, 2 – dział wodny, 3 – cieki, 4 – pola orne, 5 – pastwiska i łąki, 6 – lasy, 7 – nieużytki, roślinność wilgociolubna, 8 – drogi polne, 9 – transekt badawczy, 10 – punkty pomiarowe, A – posterunek wodowskazowy, B – posterunek meteorologiczny

Fig. 1. Landuse (I) and sampling sites location (II) in the Dworski Potok catchment:

1 – contour lines, 2 – watershed, 3 – rivers, 4 – arable lands, 5 – meadows and pastures lands, 6 – forests, 7 – wastelands, marsh plants, 8 – ways across the fields, 9 – research profile, 10 – measurement sites, A – gauging site, B – weather station

Zmienność cech pokrywy śnieżnej analizowano w odniesieniu do pojedynczych okresów z pokrywą śnieżną. Podstawą analizy były wyniki częstych i regularnie przeprowadzonych pomiarów terenowych w punktach rozmieszczonych wzdłuż transektu przecinającego główne części zlewni – stoki o ekspozycji północnej i południowej (ryc. 1). W pracy wykorzystano także dane meteorologiczne ze stacji usytuowanej na dziale wodnym. Badania prowadzono w sezonach zimowych: 1999/00, 2002/03 i 2003/04. Do przedstawienia zaobserwowanych prawidłowości wykorzystano wyniki uzyskane podczas najdłuższego z okresów badawczych, trwającego od 2 lutego do 11 marca 2003 r.

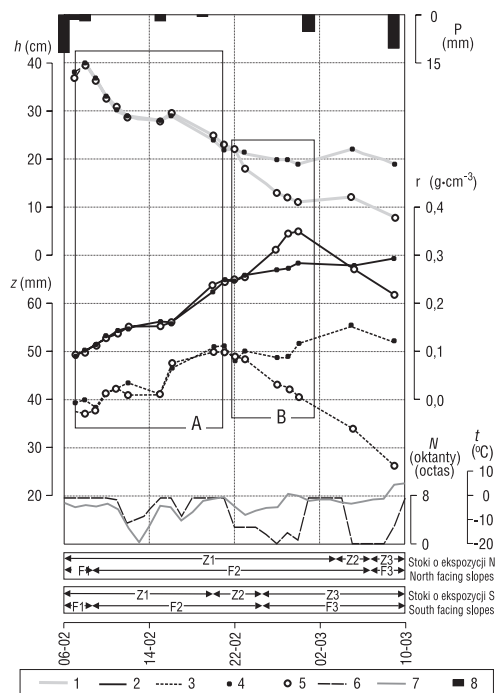
## **Zmiany grubości, gęstości i zapasu wody w pokrywie śnieżnej**

W przebiegu grubości pokrywy śnieżnej występowały fazy wzrostów, spadków i okresy, kiedy grubość nie ulegała zmianom (ryc. 2). Wzrosty były związane z opadami śniegu lub z nawiewaniem na nią śniegu z miejsc sąsiednich, spadki – z osiadaniem i zanikiem pokrywy, a także z wywiewaniem śniegu oraz z naciskiem powodowanym przez wiatr w miejscach jego nawiewania. Fazy niezmienniej grubości występowały rzadko.

Ogólną prawidłowością był wzrost gęstości pokrywy śnieżnej w miarę upływu czasu, podczas którego występowały chwilowe spadki związane z opadami śniegu (ryc. 2). Gęstość pokrywy śnieżnej wzrastała od  $0,06\text{--}0,09\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (świeża pokrywa) do  $0,24\text{--}0,26\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (pokrywa zleżała), a maksymalnie do  $0,35\text{--}0,45\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Średni dobowy wzrost gęstości osiągał od  $0,007$  do  $0,015\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  na stokach o ekspozycji północnej i od  $0,008$  do  $0,018\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  na stokach o ekspozycji południowej. Wzrost gęstości zachodził na skutek: osiadania pokrywy, pojawiania się w niej wolnej wody, regelacji jej powierzchniowych warstw, pochłaniania wody deszczowej, a także pod wpływem nacisku powodowanego przez wiatr. Pod koniec trwania pokrywy śnieżnej zaznaczał się spadek średniej gęstości.

W przebiegu zapasu wody w pokrywie śnieżnej można wyróżnić 3 fazy: akumulacji, maksymalnego zapasu i ablacji (ryc. 2). Faza akumulacji trwała od momentu powstania pokrywy śnieżnej do osiągnięcia przez nią maksymalnego zapasu wody. Faza maksymalnego zapasu wody trwała od osiągnięcia wartości maksymalnej do rozpoczęcia oddawania wody przez pokrywę śnieżną. Maksymalny zapas wody występował w różnych częściach okresów z pokrywą śnieżną: tuż po osiągnięciu maksymalnej grubości, w środkowej części okresów lub w ich części końcowej. Faza ablacji trwała od momentu rozpoczęcia oddawania wody do zupełnego zaniku pokrywy śnieżnej. W okresach z dużym zachmurzeniem i słabym wiatrem najdłużej trwała faza akumulacji (do 75% dni z pokrywą śnieżną), natomiast w okresach charakteryzujących się znaczną liczbą dni pogodnych na stokach o ekspozycji północnej najdłużej trwała faza akumulacji (do 75% dni z pokrywą śnieżną), a na stokach o ekspozycji południowej – faza ablacji (55%). Najkrócej na obu stokach trwała faza maksymalnego zapasu wody – od jednego do kilku dni (1-3%).

Jeżeli przez większą część okresu zalegania pokrywy śnieżnej występowały średnia dobową temperaturą powietrza mniejszą od  $0^{\circ}\text{C}$ , zachmurzenie większe od 6/8

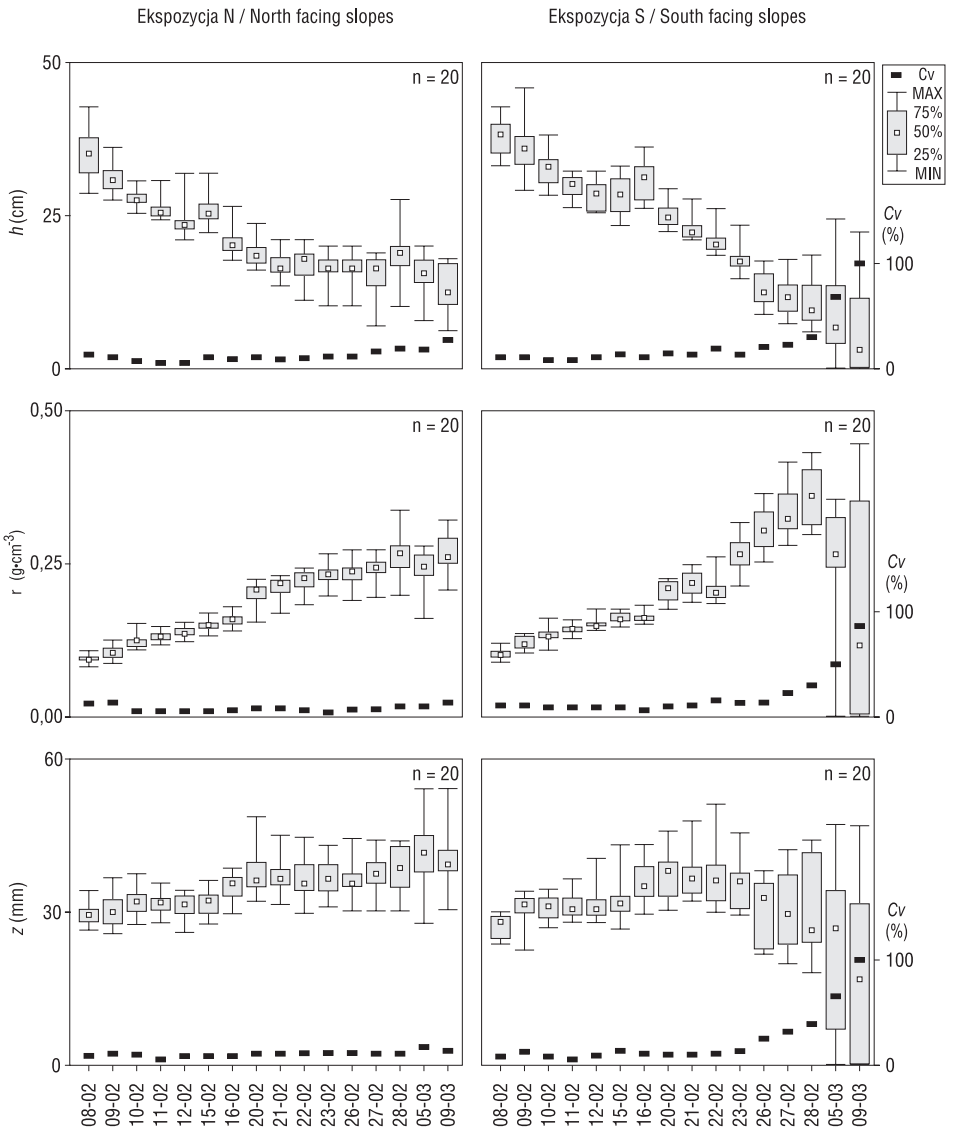


Ryc. 2. Przebieg grubości  $h$  (1), gęstości  $\rho$  (2) i zapasu wody  $z$  (3) w pokrywie śnieżnej na stokach o ekspozycji północnej (4) i południowej (5) na tle przebiegu: średniego dobowego zachmurzenia  $N$  (6), średniej dobowej temperatury powietrza  $t$  (7) i opadów atmosferycznych  $P$  (8). Wyróżniono część okresu z dużym (A) oraz z małym zachmurzeniem (B). Wydzielono fazy zmian zapasu wody: Z1 – akumulacji, Z2 – maksymalnego zapasu, Z3 – ablacji, oraz fazy rozwoju pokrywy śnieżnej: F1 – formowania, F2 – osiadania, F3 – ablacji. Zima 2003/04

Fig. 2. Variability of the snow cover depth  $h$  (1), density  $\rho$  (2) and water equivalent  $z$  (4) in the north (5) and south facing slopes against course of: mean daily cloudiness  $N$  (6), mean daily air temperature  $t$  (7) and daily precipitation  $P$  (8). Phases of water equivalent changes: Z1 – accumulation phase, Z2 – maximum water equivalent phase, Z3 – ablation phase; phases of snow cover development: F1 – formation, F2 – settlement, F3 – ablation. Marked the part of the periods with high (A) and low cloudiness (B). Winter 2003/04

i prędkość wiatru mniejsza od  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , to wówczas na stokach o ekspozycji północnej i południowej następowały podobne zmiany grubości, gęstości i zapasu wody w pokrywie śnieżnej (np. okres od 7 do 22 lutego 2004 r. – ryc. 2 i 3). Współczynniki zmienności analizowanych cech pokrywy śnieżnej nie przekraczały 20% (ryc. 3). Jeżeli osiadanie i zanik pokrywy śnieżnej zachodziły w warunkach większego usłonecznienia ( $>4,5$  godz.) lub przy udziale silniejszego wiatru ( $\geq 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) z SW i S, to wzrastały różnice między cechami pokrywy śnieżnej zalegającej na stokach o ekspozycji północnej i południowej (np. okres od 23 do 28 lutego 2004 r. – ryc. 2 i 3). Na stoku o ekspozycji południowej wzrastały rozstęp i współczynnik zmienności (do ponad 80%). Pokrywa śnieżna charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem zmienności cech wzdłuż stoku (największe zmiany zachodziły w środkowej części stoku, mniejsze – w jego części górnej, a najmniejsze – w jego dolnym, zacienionym odcinku). Na stoku o ekspozycji północnej zmiany cech pokrywy były nieznaczne, a współczynnik zmienności utrzymywał się na prawie niezmiennym poziomie. Wzrastał dopiero pod koniec trwania pokrywy śnieżnej.

Przez większą część okresów z pokrywą śnieżną średnia dobowa temperatura powietrza była mniejsza od  $0^{\circ}\text{C}$ ; temperatura dodatnia była w ostatnich dniach okresów. Skala zmienności temperatury ujemnej była nieproporcjonalnie większa od zmienności cech pokrywy śnieżnej, a z jej wahaniami trudno powiązać wahania cech pokrywy śnieżnej (ryc. 2).



Ryc. 3. Charakterystyki statystyczne rozkładów empirycznych grubości  $h$ , gęstości  $\rho$  i zapasu wody  $z$  w pokrywie śnieżnej,  $C_v$  – współczynnik zmienności. Zima 2003/04

Fig. 3. Statistical characteristics of empirical distribution parameters of snow cover depth  $h$ , density  $\rho$  and water equivalent  $z$ ,  $C_v$  – variability coefficient. Winter 2003/04

## Fazy rozwoju pokrywy śnieżnej

W zlewni Dworskiego Potoku można wyróżnić 3 fazy rozwoju pokrywy (por. ryc. 2): fazę formowania (F1), osiadania (F2) i zaniku (F3). W fazie formowania tworzyła się inicjalna pokrywa śnieżna. Wówczas gęstość pokrywy utrzymywała się na niezmiennym poziomie. Średnia dobową gęstość pokrywy śnieżnej nie przekraczała  $0,10 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Fazę tę kończył wyraźny wzrost gęstości i spadek grubości.

Podczas osiadania pokrywy śnieżnej następował spadek grubości i wzrost gęstości pokrywy śnieżnej. Na początku tej fazy zmiany grubości i gęstości były wyraźne: średni dobowy spadek grubości wynosił 2-4 cm, średni dobowy wzrost gęstości –  $0,009\text{-}0,016 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Następnie zmiany grubości i gęstości były coraz mniejsze: średni dobowy spadek grubości spadał do 0,6-1,5 cm, a średni dobowy wzrost gęstości osiągał  $0,004\text{-}0,012 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Ilość wody zawarta w pokrywie śnieżnej wzrastała (tempo wzrostu osiągało przeciętnie  $0,5\text{-}0,6 \text{ mm}\cdot\text{doba}^{-1}$ ) lub utrzymywała się na niezmiennym poziomie. Podczas tej fazy średnia dobową temperatura powietrza była zwykle niższa od  $0^\circ\text{C}$ . Średnia dobową gęstość pokrywy śnieżnej pod koniec tej fazy nie przekraczała zwykle  $0,30 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Fazę tę kończyło osiągnięcie przez pokrywę śnieżną maksymalnego zapasu wody.

W fazie ablacji średnia dobową temperatura powietrza była wyższa od  $0^\circ\text{C}$ . W tej fazie grubość nadal spadała. Gęstość początkowo jeszcze wzrastała, a pod koniec fazy – spadała. Zapas wody gwałtownie się zmniejszał.

## Związek zapasu wody z grubością i gęstością pokrywy śnieżnej

Zapas wody zależy od gęstości i grubości pokrywy śnieżnej. W okresie formowania i osiadania pokrywy śnieżnej istotny statystycznie i silny wpływ na jego wartość miała grubość pokrywy (tab. 1) – im większa była grubość pokrywy śnieżnej, tym większa była zawarta w niej ilość wody. Z czasem zależność zapasu wody od grubości była coraz mniejsza, natomiast wzrastała jego zależność od gęstości. W okresie ablacji występowała silniejsza zależność zapasu wody od gęstości niż od grubości pokrywy śnieżnej.

Tab. 1. Współczynniki korelacji rang Spearmanna między zapasem wody w pokrywie śnieżnej  $z$  a grubością  $h$  i gęstością  $\rho$  pokrywy śnieżnej w różnych fazach jej rozwoju (druk pogrubiony –  $p < 0,05$ )

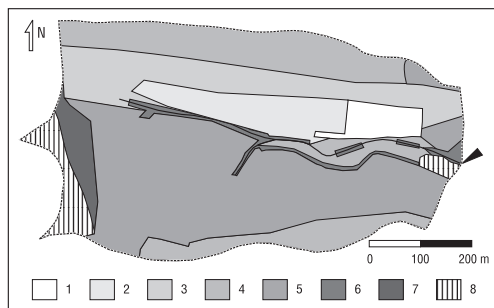
Table 1. Spearman's rank correlations between snow cover water equivalent  $z$  and snow cover depth  $h$  and density  $\rho$  in different stages of snow cover development (bold –  $p < 0.05$ )

Część zlewni Part of the catchment	Faza / Phase					
	Akumulacji Snow cover accumulation		Osiadania Settlement of snow cover		Ablacji Snow cover ablation	
	$h$	$\rho$	$h$	$\rho$	$h$	$\rho$
Stoki o ekspozycji N North facing slopes	<b>0,62</b>	-0,15	<b>0,70</b>	0,12	<b>0,70</b>	<b>0,88</b>
Stoki o ekspozycji S South facing slopes	<b>0,59</b>	-0,11	<b>0,55</b>	0,13	<b>0,62</b>	<b>0,76</b>

## Kolejność zaniku pokrywy śnieżnej w zlewni

Różnice między datami zaniku pokrywy śnieżnej w zlewni dochodziły do 14 dni. Tempo zaniku zależało od ekspozycji, nachylenia i użytkowania stoków, a także od ich zacienienia (osłonięcia). Kolejność zaniku pokrywy śnieżnej w zlewni przedstawiono na rycinie 4. Insolacja i wiatry halne powodowały szybką ablację pokrywy na stoku o ekspozycji południowej. W pierwszej kolejności śnieg traciły najbardziej nachylone środkowe części stoku, które zajęte były przez równo skoszone łąki (1) i zaorane pole (2). Następnie zanikała pokrywa w słabiej nachylonej, górnej części stoku (3), potem u jego podnóża i na wierzchowinach (4).

Na stoku o ekspozycji północnej najwcześniej pokrywa śnieżna zanikała na jego łagodnie nachylonych częściach (5). Najdłużej występowała u podnóża tego stoku oraz w dolinie i w miejscach zacienionych (6), zwłaszcza na obszarach położonych w cieniu lasów (7). Tajanie spowodowane opadami deszczu zachodziło na ogół w tym samym czasie na całym obszarze zlewni. Zanik pokrywy śnieżnej następował wcześniej w miejscach, gdzie grubość warstwy śniegu była najmniejsza, a gęstość – największa.



Ryc. 4. Zanik pokrywy śnieżnej w zlewni Dworskiego Potoku: 1-7 – kolejność zanikania pokrywy śnieżnej na terenach otwartych (w kolejnych klasach zanik zachodził 1-2 dni później niż w klasach wcześniejszych), 8 – obszary leśne (zanik nierównomierny)

Fig. 4. Snow cover decline in Dworski Potok catchment: 1-7 – the sequence of decline on open areas (in following classes the snow cover disappears 1-2 days later than in previous classes), 8 – forests (irregular decline)

## Wnioski

W okresie zalegania pokrywy śnieżnej w zlewni Dworskiego Potoku można wyróżnić 3 fazy zmian, różniące się przebiegiem grubości, gęstości i zapasu wody: fazę formowania (tworzenie się inicjalnej pokrywy śnieżnej), osiadania (spadek grubości, wzrost gęstości i brak zmian lub wzrost zapasu wody) i zaniku (spadek grubości i zapasu wody, wzrost i w końcu spadek gęstości).

Podstawowym czynnikiem wpływającym na zmiany grubości, gęstości i zapasu wody w pokrywie śnieżnej, w dniach ze średnią dobową temperaturą powietrza  $<0^{\circ}\text{C}$ , w zlewni Dworskiego Potoku były: wielkość zachmurzenia i usłonecznienia oraz prędkość i kierunek wiatru. Wpływ temperatury dodatniej zaznaczał się w ostatnich dniach okresów niwalnych.

W okresie formowania i osiadania pokrywy śnieżnej większy wpływ na zapas wody ma grubość pokrywy, a w okresie ablacji – jej gęstość.

## Literatura

- Falarz M., 2002, *Klimatyczne przyczyny zmian i wieloletniej zmienności występowania pokrywy śnieżnej w polskich Tatrach*, Prz. Geogr., 74, 1, 83-106.
- Falarz M., 2004, *Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20<sup>th</sup> century*, Int. J. Climatol., 24, 13, 1713-1727.
- Głowicki B., 1977, *Struktura przestrzenna pokrywy śnieżnej w górnej części zlewni Potoku Szrenickiego*, [w:] *Śnieg i pokrywa śnieżna*, Materiały z Sympozjum w Zakopanem 15-17.03.1973, Mat. Bad. IMGW, Ser. Meteorologia, Warszawa, 77-96.
- Kłapowa M., 1980, *Metamorfoza śniegu w zależności od warunków atmosferycznych i rzeźby terenu w Tatrach*, Mat. Bad. IMGW, Ser. Meteorologia, Warszawa.
- Obrębska-Starkłowa B., 1968, *Pokrywa śnieżna we wschodniej części Gorców*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 18, 37-50.
- Leśniak B., 1980, *Pokrywa śnieżna w dorzeczu górnej Wisły*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 51, 75-127.
- Leśniak B., 1984, *Zróżnicowanie charakterystyk pokrywy śnieżnej w dorzeczu Dunajca*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 58, 37-48.
- Radomski C., 1964, *Opady, osady i pokrywa śnieżna w terenie pagórkowatym oraz ich aspekt rolniczy*, Wyd. WSR, Olsztyn.
- Sadowski M., 1977, *Pokrywa śnieżna w Karkonoszach*, [w:] *Śnieg i pokrywa śnieżna*, Materiały z Sympozjum w Zakopanem 15-17.03.1973, Mat. Bad. IMGW, Ser. Meteorologia, Warszawa, 63-76.

## Summary

The variability of the properties of snow cover – depth, density and water equivalent – were studied in a small agricultural catchment in the Wiśnickie Foothills during the winter seasons of 1999/00, 2002/03 and 2003/04 for each snow cover period. Snow cover measurements were made at sampling sites spaced roughly 10 m apart along a transect running from north to south across the site. The snow cover changes were related to mean diurnal cloudiness, duration of sunshine and the wind speed and direction. The snow cover development was broken down into the phases of formation, settlement, and ablation.